การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

อุสาอักษี ดนวรานันท์
พิมพ์มาตา ฉางข้าวพรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

จุฬาลักษณ์ พนาวรานันท์
พิมพ์มาดา ฉางข้าวพรม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF BIODIESEL FROM PALM OIL IN A REACTIVE DISTILLATION

JULALUCK PANAWARANUN

PIMMADA CHANGKHAOPROM

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHERLOR IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา
โดย	นางสาวจุฬาลักษณ์ พนาวรานันท์
	นางสาวพิมพ์มาดา ฉางข้าวพรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง
	สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง)

.....กรรมการ
(ดร. วลัยรัตน์ จันทรอัมพร)

.....กรรมการ
(ดร. ธนวรรณ พิณรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพจากน้ำมันปาล์มและเมทานอลโดยใช้หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

โดย นางสาวจุฬาลักษณ์ พนาวรานันท์
นางสาวพิมพ์มาดา ฉางข้าวพรม

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2556
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ดวงกมล ณ ระนอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาโดยใช้แคลเซียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทดสอบปฏิกิริยาโดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเป็น 1:9 และ 1:12 ตามลำดับ พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลของการหมุนเวียนสารกลับมาใช้ใหม่โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบชั่งน้ำหนัก ซึ่งนำน้ำหนักของกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นมาชั่งเพื่อนำไปหาค่าการแปลงผันทางเคมี โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 65 , 75 และ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลาสี่ชั่วโมง และแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ การหมุนเวียนเมทานอลเพียงอย่างเดียว และการหมุนเวียนทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล ซึ่งค่าการแปลงผันทางเคมีของกรณีแรกที่อัตราส่วน 1:9 เท่ากับ 31.86 , 35.36 และ 42.58 และที่อัตราส่วน 1:12 เท่ากับ 23.19 , 27.54 และ 32.54 ตามลำดับ ส่วนกรณีที่สองที่อัตราส่วน 1:9 มีค่าการแปลงผันทางเคมีเท่ากับ 36.30 , 37.01 และ 46.24 และที่อัตราส่วน 1:12 เท่ากับ 29.84 , 34.15 และ 40.38 ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาเปรียบเทียบกับเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ ซึ่งเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยามีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report title	Production of Biodiesel from Palm Oil in a Reactive Distillation
By	Julaluck Panawaranun
	Pimmada Changkhaoprom
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2013
Advisor	Assoc. Prof. Dr. Duangkamol Na-Ranong

Abstract

This research proposes a study of biodiesel production from palm oil and methanol by Transesterification reaction in a reactive distillation in the presence of Calcium Oxide catalyst. The molar ratio of palm oil to methanol of 1:9 and 1:12 were applied and the reactions were tested at 65, 75 and 80°C for 4 hours. This research study the effect of reactant circulation which we studied two types of circulation: methanol circulation and palm oil and methanol (Both reactants) circulation. The results are observing by using the gravimetric method and calculated to conversion. The conversion of 65, 75 and 80°C for the first type of circulation at 1:9 molar ratio are 31.86, 35.36 and 42.58 and at 1:12 molar ratio are 23.19, 27.54 and 32.54. The conversion for the second type at 1:9 molar ratio are 36.30, 37.01 and 46.24 and at 1:12 molar ratio are 29.84, 34.15 and 40.38. Furthermore, we compared the efficiency between conventional packed bed reactor and reactive distillation on found that reactive distillation performs better than conventional packed bed reactor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.ดวงกมล ณ ระนอง อาจารย์ผู้ควบคุมดูแลปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางรวมทั้งปรับปรุงแก้ไขปัญหา ข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำโครงงานด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ คุณชินกฤต ละดาดก คุณหฤษฎ์ ไทยกรรณ์ และคุณอินทิรา ลัดลอย ที่ให้คำแนะนำ ดูแล และช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครูอาจารย์ทุกท่าน ผู้ที่คอยให้การสนับสนุน แนะแนว สั่งสอน เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือจนทำให้โครงงานครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
รายการสัญลักษณ์	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ที่มาและความสำคัญ	1
1.2. วัตถุประสงค์	2
1.3. ขอบเขตการศึกษา	2
1.4. วิธีการดำเนินงาน	2
1.5. ประโยชน์ที่ได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1. น้ำมันดีเซลชีวภาพ	4
2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	5
2.3. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ	7
2.4. เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	
2.4.1. องค์ประกอบของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	9
2.4.2. หลักการทำงานของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	10
2.4.3. การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	10
2.4.4. ประโยชน์ของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	13
2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.5.1. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ	14
2.5.2. การใช้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานหรือวิธีการทดลอง	
	3.1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์	16
	3.2. การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	17
	3.3. การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ	19
	3.4. การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล ในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	21
	3.5. การวิเคราะห์ผล	23
บทที่ 4	วิเคราะห์ผลการทดลอง	
	4.1. ผลการทดสอบความความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์	24
	4.2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ	24
	4.3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	
	4.3.1. อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	25
	4.3.2. อิทธิพลของอุณหภูมิ	27
	4.3.3. อิทธิพลของการป้อนสารกลับ	28
	4.4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุและเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	29
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	30
เอกสารอ้างอิง		31
ภาคผนวก		
	ภาคผนวก ก.	33
	ภาคผนวก ข.	39
ประวัติผู้เขียน		41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ	17
3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ	19
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	21
ก.1 น้ำหนักสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล	34
ก.2 น้ำหนักสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	34
ก.3 น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล	35
ก.4 น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	35
ก.5 จำนวนโมลของสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล	36
ก.6 จำนวนโมลของสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	36
ก.7 จำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล	37
ก.8 จำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	37
ก.9 ผลการทดลองการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซอไรด์	5
2.2 ปฏิกิริยาย่อยของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	5
2.3 เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา	9
3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา	18
3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุสำหรับทดสอบปฏิกิริยา	20
3.3 เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสำหรับทดสอบปฏิกิริยา	22
4.1 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล เมื่อมีการป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล	25
4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล เมื่อมีการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	26
4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 เมื่อมีการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	27
4.4 อิทธิพลของชนิดของการป้อนสารกลับที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

B	อัตราการไหลของสารที่ตกลงสู่ก้นหอ (โมลต่อวินาที)
D	อัตราการไหลของสารที่ต้องการกลั่น (โมลต่อวินาที)
F_j	อัตราการไหลเชิงโมลสาร j (โมลต่อวินาที)
F_{j0}	อัตราการไหลเชิงโมลของสาร j เริ่มต้น (โมลต่อวินาที)
$F_j \mid_w$	อัตราการไหลเชิงโมลของสาร j ที่ตำแหน่ง w (โมลต่อวินาที)
$F_j \mid_{w+\Delta w}$	อัตราการไหลเชิงโมลของสาร j ที่ตำแหน่ง $w + \Delta w$ (โมลต่อวินาที)
L_j	อัตราการไหลของสาร j (โมลต่อวินาที)
M	ปริมาณสเกลาร์ที่มีค่าเท่ากับปริมาณของส่วนประกอบที่มีการผสม
n	จำนวนโมลของสารที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา
R	ค่าคงที่ที่ขึ้นกับองค์ประกอบอื่นๆ
r_j	อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของสาร j
r_j^*	ค่าทรานส์ฟอร์มรีฟลักซ์
s_j^*	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนสตริปปิง
$[S]$	เมทริกซ์แสดงค่าอัตราการถ่ายโอนมวลสารของแต่ละองค์ประกอบ
t	เวลา (วินาที)
V	อัตราการไหลของไอ (โมลต่อวินาที)
v_k	สัมประสิทธิ์ปริมาณสารสัมพันธ์ของสาร k
v_T	สัมประสิทธิ์ปริมาณสารสัมพันธ์ทั้งหมด
W	น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา (กรัม)
X	ค่าการแปลงผันทางเคมี
$X_{i,B}$	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนโดยโมลของของเหลวสาร i หรือสารที่ตกลงสู่ก้นหอ
$X_{i,j}$	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนโดยโมลของของเหลวสาร i หรือสาร j
$X_{i,j+1}$	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนโดยโมลของของเหลวสาร i หรือสาร $j+1$
$\boldsymbol{x}$	เวคเตอร์อัตราส่วนโดยโมลของของเหลว
$x_{k,B}$	อัตราส่วนโดยโมลของของเหลวของสาร k หรือสารที่ตกลงสู่ก้นหอ
$x_{k,j}$	อัตราส่วนโดยโมลของของเหลวของสาร k หรือ j
x^F	องค์ประกอบของสารที่ป้อนเข้าไป (Feed composition)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

x^0	องค์ประกอบที่มีในหอกลั่น (Current composition)
$Y_{i,D}$	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนโดยโมลของไอสาร i หรือสารที่ต้องการกลั่น
$Y_{i,j}$	ค่าทรานส์ฟอร์มอัตราส่วนโดยโมลของไอสาร i หรือสาร
$\boldsymbol{y}$	เวคเตอร์อัตราส่วนโดยโมลของไอ
y_k	อัตราส่วนโดยโมลของไอของสาร k
$y_{k,j}$	อัตราส่วนโดยโมลของไอของสาร k หรือ j
$y_{k,D}$	อัตราส่วนโดยโมลของไอของสาร k หรือสารที่ต้องการกลั่น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพซึ่งเป็นปฏิกิริยาแบบผันกลับได้มักมีการใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะหรือเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ โดยที่ปฏิกิริยาจะถูกจำกัดด้วยข้อจำกัดทางด้านสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาตามกฎสมดุลของเลอ ชาเตอริเย ทำให้สารตั้งต้นไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้ทั้งหมดเมื่อถึงจุดสมดุล จึงจำเป็นต้องมีการนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ทั้งหมดออกมาแยกเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจริง และสารตั้งต้นที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยา ซึ่งในขั้นตอนนี้ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการแยกสารต่างๆ ออกจากกัน โดยตามหลักของเลอ ชาเตอริเยนั้น หากปฏิกิริยาถูกรบกวนสมดุลจะทำให้สารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์เกิดได้มากขึ้น โดยการรบกวนสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาสามารถทำได้หลายทาง อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดัน การเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น และการลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ ซึ่งในเครื่องปฏิกรณ์แบบดั้งเดิมนั้นอาจเพิ่มค่าการแปลงผันทางเคมีได้โดยเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่งแต่ก็ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก นอกจากนี้การผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพแบบดั้งเดิมนั้นยังใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอกพันธุ์ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการแยกน้ำมันดีเซลชีวภาพออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาอีกด้วย

ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทดลองนำเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยามาใช้ในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเพื่อผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้มีความสามารถในการดึงผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ได้ในขณะที่ทำปฏิกิริยา ทำให้สามารถลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น และรบกวนสมดุลของการเกิดปฏิกิริยาทำให้การเกิดเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพมีมากขึ้น นอกจากนี้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยายังมีความเหมาะสมในการนำมาใช้กับปฏิกิริยาที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ เนื่องจากสามารถบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงไปที่ส่วนกลางของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา และลดขั้นตอนในการแยกสารผลิตภัณฑ์ออกจากตัวเร่งปฏิกิริยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. ศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บรรจุอยู่ภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานต่างๆ

1.2.2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยากับเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

1.3. ขอบเขตการศึกษา

1.3.1. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์และนำไปทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

1.3.2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์น้ำมันดีเซลชีวภาพที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

1.3.3. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา โดยใช้การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric method)

1.4. วิธีการดำเนินงาน

1.4.1. ศึกษาชนิดชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาและออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบการเกิดปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

1.4.2. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

1.4.3. ทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

1.4.4. ศึกษาคุณสมบัติและตัวแปรที่มีผลต่อค่าการแปลงผันในการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ และเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

1.4.5. ทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

1.4.6. ทดลองทำปฏิกิริยาโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

1.4.7. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุและเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาโดยการเปรียบเทียบค่าการแปลงผันที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิด

1.4.8. เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5. ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1. เพิ่มทางเลือกในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาเป็นหน่วยปฏิบัติการที่มีการรวมเอาหน่วยแยกสารและหน่วยทำปฏิกิริยาด้วยเครื่องปฏิกรณ์ไว้ด้วยกัน จึงช่วยลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างมาก

1.5.2. ทราบแนวทางในการพัฒนาเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. น้ำมันดีเซลชีวภาพ (Biodiesel)

น้ำมันดีเซลชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิงที่ไม่มีส่วนประกอบของปิโตรเลียมโดยประกอบด้วยอัลคิลเอสเทอร์ (Alkyl ester) ที่เกิดจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) ของไตรกลีเซอไรด์หรือปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ของกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) น้ำมันดีเซลชีวภาพถือเป็นเชื้อเพลิงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่ลดการเกิดแก๊สคาร์บอกไดออกไซด์ (Carbon dioxide) ซึ่งหมายความว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ลดการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) หากเราทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันดีเซลชีวภาพที่มีความบริสุทธิ์ 100 เปอร์เซ็นต์กับน้ำมันดีเซลปกติที่ผลิตจากปิโตรเลียม จะพบว่าน้ำมันดีเซลชีวภาพปลดปล่อยพลังงานน้อยกว่าน้ำมันดีเซลปกติ แต่ในเชิงการทำงานของเครื่องจักรนั้นถือว่าน้ำมันดีเซลทั้งสองชนิดให้ประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันหรือปฏิกิริยาแอลกอฮอลล์ไลซิส เป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ โดยสารตั้งต้นเป็นกลีเซไรด์ในน้ำมันพืชและแอลกอฮอลล์ ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาช่วยในการเกิดเป็นน้ำมันดีเซลชีวภาพหรือ FAAE (Fatty acid alkyl esters) และกลีเซอรอล ซึ่งองค์ประกอบหลักในน้ำมันพืชคือไตรกลีเซไรด์ซึ่งในโมเลกุลประกอบด้วยสายโซ่ของกรดไขมัน 3 สายเกาะอยู่กับกลีเซอรอล เมื่อทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอลล์สายโซ่ของกรดไขมันทั้งสามสายจะหลุดออกจากกลีเซอรอลและมารวมตัวกับแอลกอฮอลล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็น FAAE และได้กลีเซอรอลเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง (By-product) โดยปฏิกิริยาเป็นดังต่อไปนี้

$$\begin{array}{lcl} CH_2-OOC-R_1 & & R_2-OOC-R' \quad\quad CH_2-OH \\ CH-OOC-R_2 + 3R'OH & \rightleftharpoons & R_2-OOC-R' + CH_2-OH \\ CH_2-OOC-R_1 & & R_3-OOC-R' \quad\quad CH_2-OH \end{array}$$

ไตรกลีเซไรด์ แอลกอฮอลล์ เอสเทอร์ กลีเซอรอล

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซไรด์

จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของไตรกลีเซไรด์ที่แสดงในรูปที่ 2.1 แอลกอฮอลล์ที่สามารถใช้ในการเข้าร่วมทำปฏิกิริยา คือ เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) โพรพานอล (Propanol) บิวทานอล (Butanol) และเอมิลแอลกอฮอลล์ (Amyl alcohol) แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้เมทานอลและเอทานอลเป็นหลัก เนื่องจากเมทานอลนั้นมีราคาที่ค่อนข้างถูกและสมบัติทางเคมีหลายๆ อย่าง เช่น ความมีขั้ว และ การเป็นแอลกอฮอลล์ที่มีสายโซ่สั้น จึงทำให้เมทานอลสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับไตรกลีเซไรด์ได้อย่างรวดเร็ว และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) สามารถละลายในเมทานอลได้

$$\begin{array}{lcl} \text{ไตรกลีเซไรด์} + R-OH & \rightleftharpoons & \text{ไดกลีเซไรด์} + \text{เอสเทอร์} \\ \text{ไดกลีเซไรด์} + R-OH & \rightleftharpoons & \text{โมโนกลีเซไรด์} + \text{เอสเทอร์} \\ \text{โมโนกลีเซไรด์} + R-OH & \rightleftharpoons & \text{กลีเซอรอล} + \text{เอสเทอร์} \end{array}$$

รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาย่อยของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

จากรูปที่ 2.2 แสดงปฏิกิริยาย่อยซึ่งแสดงขั้นตอนการทำปฏิกิริยาแต่ละขั้นของปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟฟิเคชัน ก่อนที่จะได้ปฏิกิริยาสุดท้ายเป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล ดังนั้นในปฏิกิริยาจึงต้องมีการใช้จำนวนโมลของแอลกอฮอลล์มากกว่าน้ำมันพืชเพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่มักมีการเติมแอลกอฮอลล์ให้มากเกินพอ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะเกิดสารผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นจำนวนมาก เนื่องจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ การเติมแอลกอฮอลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มากเกินพอจึงเป็นการเพิ่มความเข้มข้นให้กับสารตั้งต้น เพื่อผลักดันให้ปฏิกิริยาเกิดแบบไปข้างหน้ามากขึ้น ทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์มากขึ้น

หลังจากเสร็จสิ้นปฏิกิริยาจะเกิดสารผลิตภัณฑ์สองชนิด คือ เอทิลเอสเทอร์ หรือ น้ำมันดีเซลชีวภาพกับกลีเซอรอล โดยกลีเซอรอลจะมีความหนาแน่นมากกว่าเอทิลเอสเทอร์ และสามารถแยกสารทั้งสองชนิดนี้ออกจากกันได้โดยการนำไปเหวี่ยงแยกสาร โดยที่กลีเซอรอลจะแยกชั้นอยู่ที่ชั้นล่างของภาชนะและน้ำมันดีเซลชีวภาพจะอยู่ที่ชั้นบนซึ่งสามารถแยกออกจากกันได้เนื่องจากกลีเซอรอลไม่ละลายในเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3. เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ (Packed bed reactor)

เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุเป็นเครื่องปฏิกรณ์แบบไหลต่อเนื่องที่มีลักษณะเป็นท่อยาวและมีการบรรจุของแข็งอยู่ภายใน ซึ่งอนุภาคของแข็งนี้เป็นได้ทั้งตัวเร่งปฏิกิริยาหรือสารเฉื่อยที่ไม่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยา ของแข็งที่บรรจุอยู่ภายในมีเพื่อเร่งปฏิกิริยาในสถานะของเหลวหรือแก๊ส ลักษณะการป้อนสารตั้งต้นเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์มีอยู่สองแบบ คือ ป้อนทางเดียวกัน และป้อนสวนทางกัน ซึ่งต้องป้อนสารตั้งต้นเข้าทางปลายด้านใดด้านหนึ่งของเครื่องปฏิกรณ์ และดึงสารตั้งต้นที่เหลือจากการทำปฏิกิริยารวมกับผลิตภัณฑ์ที่เกิดออกจากเครื่องปฏิกรณ์ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง โดยมักออกแบบให้ทำงานในภายใต้สภาวะคงตัวและปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัสระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยากับของไหลเท่านั้น ทำให้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมีค่าลดลงตามระยะเวลาตรงข้ามกับผลิตภัณฑ์มีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลานับจากปากทางเข้าของเครื่องปฏิกรณ์ โดยพฤติกรรมการไหลเป็นแบบปั่นป่วนรุนแรง(Highly Turbulent) ทำให้สารต่างๆ ในท่อมีการผสมกันอย่างสมบูรณ์ในแนวรัศมีจึงส่งผลให้ความเข้มข้นของสารในท่อในระนาบตัดขวางมีค่าคงที่ ดังนั้นการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชนิดนี้จะต้องทราบน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยา และพิจารณาระนาบตัดขวาง ณ ตำแหน่งที่ของแข็งบรรจุอยู่ โดยที่ความเข้มข้น อุณหภูมิ และอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งในแนวรัศมี เราสามารถเขียนสมการดุลโมลสาร j ได้ดังนี้

$$F_j\,|_W - F_j\,|_{W+\Delta W} + r_j \Delta \mathrm{W} = 0 \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ $F_j\,|_W$ คือ สาร j ไหลเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหลเชิงโมล ณ ตำแหน่ง W ของของแข็งที่บรรจุอยู่

$F_j\,|_{W+\Delta W}$ คือ สาร j ไหลออกจากเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการไหลเชิงโมล ณ ตำแหน่ง $W + \Delta W$ ของของแข็งที่บรรจุอยู่

เมื่อพิจารณาน้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยามีค่าน้อยมาก $\Delta \mathrm{W} = 0$ จะสามารถจัดรูปได้สมการอนุพันธ์ได้ดังสมการที่ (2-2)

$$\frac{dF_j}{dW} = r_j \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อ F_j คือ อัตราการไหลเชิงโมลของสาร j ออกสู่ระบบ

W คือ น้ำหนักตัวเร่งปฏิกิริยา

จากอัตราการไหลเชิงโมลของสาร j ที่เคลื่อนออกจากเครื่องปฏิกรณ์ คำนวณได้จาก

$$F_j = F_{jo} - F_j X = F_{jo}(1 - X) \qquad (2\text{-}3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ F_{j0} คือ อัตราการไหลเชิงโมลของสาร j เข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์

X คือ ค่าการแปลงผันทางเคมี

เมื่อแทนสมการที่ (2-3) ลงในสมการที่ (2-2) จะได้สมการที่ (2-4) ดังต่อไปนี้

$$F_{jo}\frac{dX}{dW} = -r_j' \tag{2-4}$$

หรือ

$$W = F_{jo}\int_0^X \frac{dX}{-r_j'} \tag{2-5}$$

ซึ่งค่าแปลงผันทางเคมีที่เกิดขึ้นของสารตั้งต้นในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุนี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องปฏิกรณ์และอัตราการป้อนของสาร และค่าแปลงผันทางเคมีมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่สารตั้งต้นนั้นเคลื่อนที่และทำปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยที่ระยะเวลานี้ยังต้องขึ้นกับปริมาตรของเครื่องปฏิกรณ์และอัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

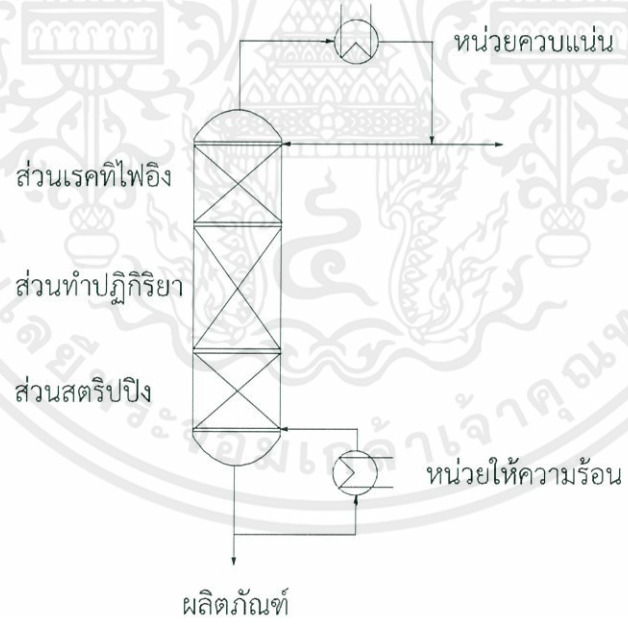
2.4. เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา (Reactive distillation, RD)

เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นเป็นการผสมผสานระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ที่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้นภายในกับหอกลั่นที่มีการแยกสารที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันออกจากกัน ซึ่งจากคุณลักษณะเหล่านี้ทำให้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นสารมารถกำจัดข้อจำกัดทางด้านสมดุลของปฏิกิริยาเคมีได้ โดยการกำจัดสารผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ที่ค่าน้อยลง

2.4.1. องค์ประกอบของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

จากรูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา โดยคอลัมน์ (Column) ของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนเรคทิไฟอิง (Rectifying section) ที่ส่วนบนของคอลัมน์ ส่วนที่ทำปฏิกิริยา (Reactive section) ที่ส่วนกลางของคอลัมน์ และส่วนสตริปปิง (Stripping section) ที่ส่วนล่างของคอลัมน์

เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นประกอบไปด้วยส่วนที่มีการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาและส่วนที่มีการกลั่นแยกสาร โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมักจะเกิดที่จุดที่สารตั้งต้นมาพบกันตรงส่วนที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาบรรจุอยู่ซึ่งอยู่ในส่วนที่ทำปฏิกิริยา และเมื่อสารทำปฏิกิริยากันเสร็จเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ก็จะผ่านไปยังส่วนที่มีการกลั่นแยกสารซึ่งอาจจะเป็นส่วนบนของคอลัมน์หรือส่วนล่างของคอลัมน์ก็ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารแต่ละชนิด



รูปที่ 2.3 เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2. หลักการของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

$$A + B \leftrightarrow C + D$$

จากปฏิกิริยาแบบผันกลับได้ที่สารตั้งต้น A และ B ทำปฏิกิริยากันเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ C และ D จุดเดือดของสารเหล่านี้จากมากไปน้อย คือ A C D และ B ตามลำดับ ในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาจะป้อนของผสมของสาร A และสาร B เข้าไปในหอกลั่นซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น โดยมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อเร่งให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นจนถึงขีดจำกัดของสมดุลทางเคมี ดังนั้นในหอกลั่นจะมีทั้งสาร A B C และ D ผสมกันอยู่ภายใน จากนั้นเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาจะกลั่นผลิตภัณฑ์ที่ได้และดึงออกมา ส่วนสารที่เหลือที่เป็นสารต้นต้น หรือ สาร A และสาร B จะถูกหมุนเวียนกลับไปใช้ เพื่อเป็นสารตั้งต้นครั้งต่อไปในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาอีกครั้งหนึ่ง

2.4.3. การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

การออกแบบเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นมีวิธีการที่ค่อนข้างซับซ้อน และใช้หลากหลายวิธีในการออกแบบเพื่อให้ได้ผลที่ออกมาใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด Barbosa และ Doherty[1] ได้พัฒนาวิธีการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาแบบป้อนสารเข้าทางเดียว โดยเรียกว่าทฤษฎีจุดคงที่ (Fixed-point method) โดยกำหนดสมมติฐาน ดังนี้

- คอลัมน์ของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาจะต้องไม่มีถ่ายโอนความร้อน (Adiabatic)
- ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Heat of vaporization) คงที่
- ละทิ้งเทอมความร้อนที่เกิดจากการผสม (Heat of mixing)
- ไม่สนใจผลกระทบจากความร้อน (Sensible heat)
- ไม่สนใจค่าความร้อนที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา (Heat of reaction) เมื่อเทียบกับค่าเอนทาลปี (Enthalpy) ของไอ
- สารตั้งต้นที่ป้อนเข้าไปเป็นของเหลวอิ่มตัว (Saturated liquid)
- คอลัมน์ของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาทำงานร่วมกับเครื่องควบแน่นบางส่วน (Partial condenser)

การกำหนดสมมติฐานเหล่านี้ทำให้เราสามารถออกแบบสมมติได้ว่าของเหลวและไอที่อยู่ภายในคอลัมน์นั้นมีการไหลอย่างคงที่และสามารถหาสมการสมดุลของพลังงาน (Energy balance) ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงชั้นของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา สมการสำหรับชั้นเรคทีไฟอิงสามารถคำนวณได้จาก

$$X_{i,j} = \frac{r_j^* + 1}{r_j^*} Y_{i,j} - \frac{1}{r_j^*} Y_{i,D} \qquad (2\text{-}4)$$

และในส่วนของชั้นสตริปปิงสามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_{i,j+1} = \frac{s_j^*}{s_j^*+1} Y_{i,j} - \frac{1}{s_j^*+1} X_{i,B} \quad (2\text{-}5)$$

โดยค่าทรานส์ฟอร์มรีฟลักซ์ (Transformed reflux) และอัตราส่วนสตริปปิง (Stripping ratio) สามารถคำนวณได้จาก

$$r_j^* = \frac{L_j(y_k - v_T x_{k,j})}{D(v_k - v_T y_{k,D})} \quad (2\text{-}6)$$

และ

$$s_j^* = \frac{V(v_k - v_T y_{k,j})}{B(v_k - v_T x_{k,B})} \quad (2\text{-}7)$$

ต่อมาได้นำสมการเหล่านี้ไปพัฒนาเพื่อคำนวณหาสมการออกแบบที่ใช้สำหรับออกแบบเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาที่มีการป้อนสารเข้าสองทางด้วยกัน

ในการคำนวณค่าองค์ประกอบของสารแต่ละชนิดที่มีการเปลี่ยนแปลงไปขณะมีการทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา Hauan และคณะ[2] ได้มีการพัฒนาสมการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานฟีโนมีนา (Phenomena-based method) โดยใช้สมการที่อธิบายโดยเวกเตอร์

$$\frac{dx}{dt} = mix + sep + rx \quad (2\text{-}8)$$

เมื่อ x คือ องค์ประกอบของแต่ละเฟส และ

mix, sep และ rx คือ เวกเตอร์ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในขณะที่มีการผสม การแยก และการเกิดปฏิกิริยา ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่เวกเตอร์แต่ละตัวสามารถอธิบายได้ ดังสมการต่อไปนี้

$$mix = M(x^F - x^0) \tag{2-9}$$

$$rx = R(v - x^0 \Sigma v) \tag{2-10}$$

$$sep = [S](\boldsymbol{x} - \boldsymbol{y}) \tag{2-11}$$

เมื่อ M คือ ปริมาณสเกลาร์ที่มีค่าเท่ากับปริมาณของส่วนประกอบที่มีการผสม

x^0 คือ องค์ประกอบที่มี (Current composition)

x^F คือ องค์ประกอบของสารที่ป้อนเข้าไป (Feed composition)

R คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความไวในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น

$[S]$ คือ เป็นเมทริกซ์ที่แสดงค่าอัตราการถ่ายโอนมวลสารของแต่ละองค์ประกอบ (Specific mass transfer rate)

โดยที่จุดคงที่ (Fixed-point) จะเกิดขึ้นเมื่อ mix, sep และ rx รวมกันเป็นศูนย์ หรือ

$$0 = mix + sep + rx \tag{2-12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4. ประโยชน์ของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาเคมีที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดวิวิธพันธุ์ร่วมด้วยในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นมีประโยชน์อย่างมาก หากเทียบกับการทำปฏิกิริยาดังกล่าวในเครื่องปฏิกรณ์แบบเดิม เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยานั้นประกอบไปด้วยกระบวนการสองกระบวนการรวมกันทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งปั๊ม ท่อ หรือเครื่องมืออื่นๆ ได้ ต่อมาความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาระหว่างทำปฏิกิริยายังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในในแง่ของพลังงานเพราะช่วยลดภาระในส่วนของการให้ความร้อน(Reboiler) ช่วยในการลดค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มค่าการเลือกเกิดเป็นผลิตภัณฑ์(Selectivity) ได้เนื่องจากเราสามารถดึงสารผลิตภัณฑ์ออกจากส่วนที่ทำปฏิกิริยา เพื่อลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ในระบบได้ สุดท้ายเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยายังสามารถยืดอายุการใช้งานของตัวเร่งปฏิกิริยาได้โดยการป้อนสารตั้งต้นเข้าไปใต้ชั้นของตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดการเกิดการเสื่อมสภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาอันเนื่องมาจากการเกิดสารเจือปน (Poisoning) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1. การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากงานวิจัยของ Endah Mutiara Marhaeni Putri และคณะ[3] ได้ทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันเมล็ดคาโปกกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ โดยมีการศึกษาตัวแปร ได้แก่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าอัตราการทำปฏิกิริยา (Reaction rate) นั้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยาคือ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดยังแปรผันตรงกับเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยจากการทดลองพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมากจะเป็นไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ หลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไดกลีเซอไรด์จะค่อยๆ ลดลงและกลายเป็นโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยา คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเป็น 1:15 อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 60 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 1 ชั่วโมง

เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ที่ใช้ในปฏิกิริยานั้นมีคุณสมบัติเป็นเบส เราจึงได้ค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยเพิ่มเติมและพบงานวิจัยของ Xuejun Liu และคณะ[4] ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันบนตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์เมื่อมีน้ำเกิดขึ้นในกระบวนการ โดยจากผลการทดลองพบว่าหากมีน้ำเกิดขึ้นในกระบวนการมากกว่า 2.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสารตั้งต้น ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้น้ำมันถั่วเหลือง จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ทำให้เกิดเป็นสบู่ได้

ดังนั้นเมื่อเราได้ศึกษาแนวโน้มที่จะสามารถนำตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์มาใช้ในการทดลองของเราได้แล้ว เราจึงค้นคว้าหาวิธีขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อให้เกิดความสะดวกต่อการบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาลงเครื่องปฏิกรณ์ ทั้งแบบเบดบรรจุและแบบหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา และลดปัญหาเรื่องความดันลด (Pressure drop) ภายในเครื่องปฏิกรณ์ จนพบงานวิจัยของ Vladimir S. Derevschikov และคณะ [5] ซึ่งได้ทดลองขึ้นรูปตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ โดยใช้สารผสมชนิดต่างๆ แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงของผลึกตัวเร่งปฏิกิริยาที่ผ่านการขึ้นรูปแล้ว โดยวัดจากแรงกดที่ใช้ในการทำลายผลึก เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าความแข็งแรงของผลึกจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลจากงานวิจัยชิ้นนี้ เราจะนำไปใช้ในการเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาทั้งในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ และเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2. การใช้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาในการผลิตน้ำมันดีเซลชีวภาพ

จากงานวิจัยของ Arvinder P. Singh และคณะ[6] ได้ทดลองทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันคาโนลากับเมทานอล ในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมออกไซด์ ซึ่งมีการป้อนสารตั้งต้นไปทางเดียวกัน และเปรียบเทียบปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น ระหว่างการทำปฏิกิริยาโดยที่สารตั้งต้นผ่านการผสมภายในเครื่องผสม (Feed mixer) ก่อนส่งเข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาและไม่ผ่านการผสมภายในเครื่องผสม พบว่าการทำปฏิกิริยาที่สารตั้งต้นมีการผสมกันก่อนส่งเข้าไปยังเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาให้ค่าการแปลงผันทางเคมีของน้ำมันคาโนลาที่มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธ์ (แคลเซียมออกไซด์)

แบ่งการวิจัยนี้ออกเป็น 4 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

ส่วนที่ 2 การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

ส่วนที่ 3 การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

ส่วนที่ 4 การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

3.1. การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

สารเคมี

1. เอธิลีนไกลคอล (Ethylene glycol)
2. แคลเซียมออกไซด์ (Calcium oxide) เกรดการค้า ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง (Mettler Toledo/AX 205)
2. ไมโครปิเปต ขนาด 1000 ไมโครลิตร
3. ครกบดยา
4. หลอดฉีดยา ขนาด 5 มิลลิลิตร
5. เตาเผา
6. ถ้วยครูซิเบิล

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งแคลเซียมออกไซด์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. นำไปผสมกับเอธิลีนไกลคอลให้เป็นเนื้อเดียวกัน
3. ขึ้นรูปโดยใส่ลงในหลอดฉีดยาและฉีดออกมา
4. นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. การทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม ตรา ทับทิม
2. เมทานอล (CH_3OH) เกรดการค้า J.T. Baker
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

อุปกรณ์

1. ขวดสามคอขนาด 250 มิลลิลิตร
2. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)
3. เครื่องควบแน่น (Condenser)
4. ปั๊มน้ำขนาดเล็ก (Pump)
5. แท่งแม่เหล็กคนสาร (Magnetic bar)
6. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

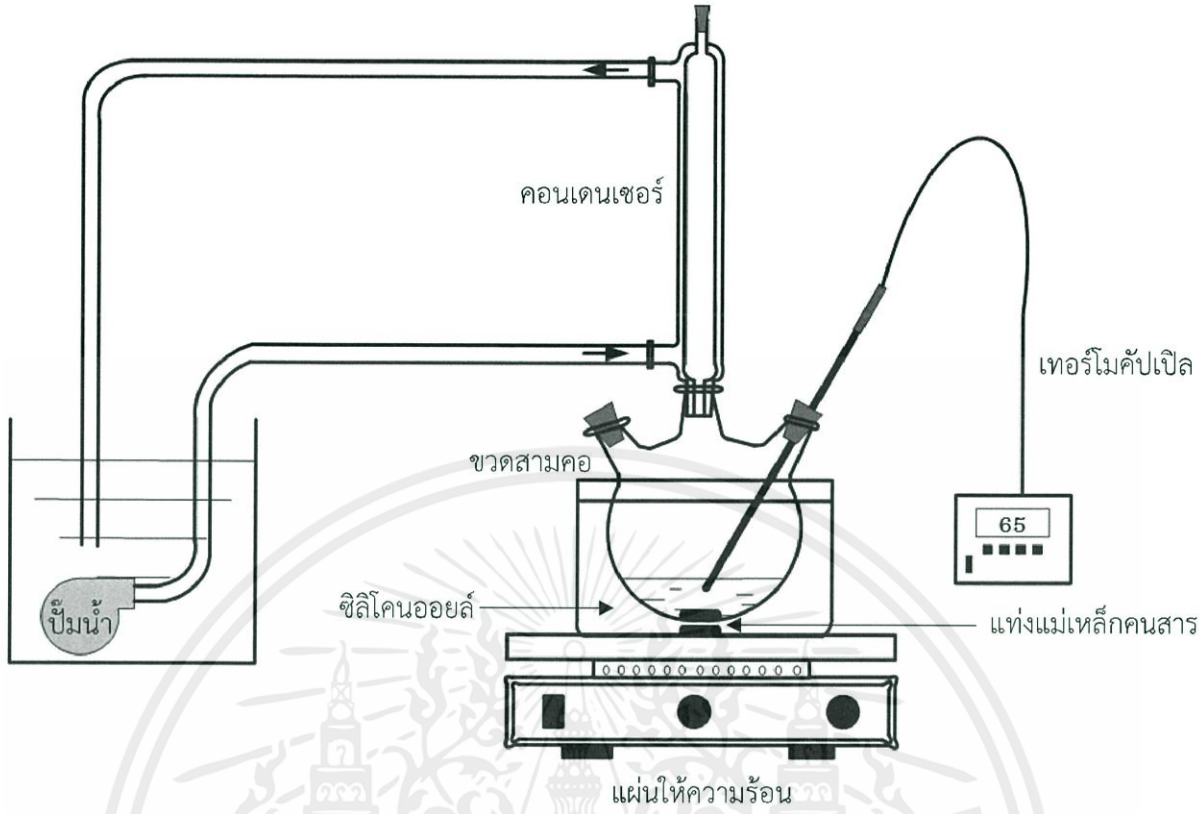
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	1:12 โดยโมล
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์	0.3 กรัม (1% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม)
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	65 องศาเซลเซียส
ความดันในการทำปฏิกิริยา	ความดันบรรยากาศ
เวลาในการทำปฏิกิริยา	1 ชั่วโมง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งชุดการทดลองดังรูปที่ 3.1 และใช้สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.1
2. เติมเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ลงในขวดสามคอ ควบคุมอุณหภูมิตามสภาวะที่ใช้ในการทดลอง
3. เติมน้ำมันปาล์มลงในขวดสามคอ และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์
4. นำตัวอย่างที่ได้ไปกลั่นแยกเมทานอลที่หลงเหลืออยู่ออก
5. นำสารที่ได้จากข้อที่ 4 ไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกชั้น FAME กับกลีเซอรอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แบบกะสำหรับทดสอบตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม ตรา ทับทิม
2. เมทานอล (CH_3OH) เกรดการค้า J.T. Baker
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

อุปกรณ์

1. ขวดสามคอขนาด 250 มิลลิลิตร 2 ขวด
2. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate) 2 เครื่อง
3. ปั๊มเข็มฉีดยา (Syringe pump, Cole-Parmer) 2 เครื่อง
4. ปั๊มน้ำขนาดเล็ก (Pump) 2 เครื่อง
5. แถบให้ความร้อน (Heating tape)
6. แท่งแม่เหล็กคนสาร (Magnetic bar)
7. เครื่องควบแน่น (Condenser)
8. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)
9. คอลัมน์

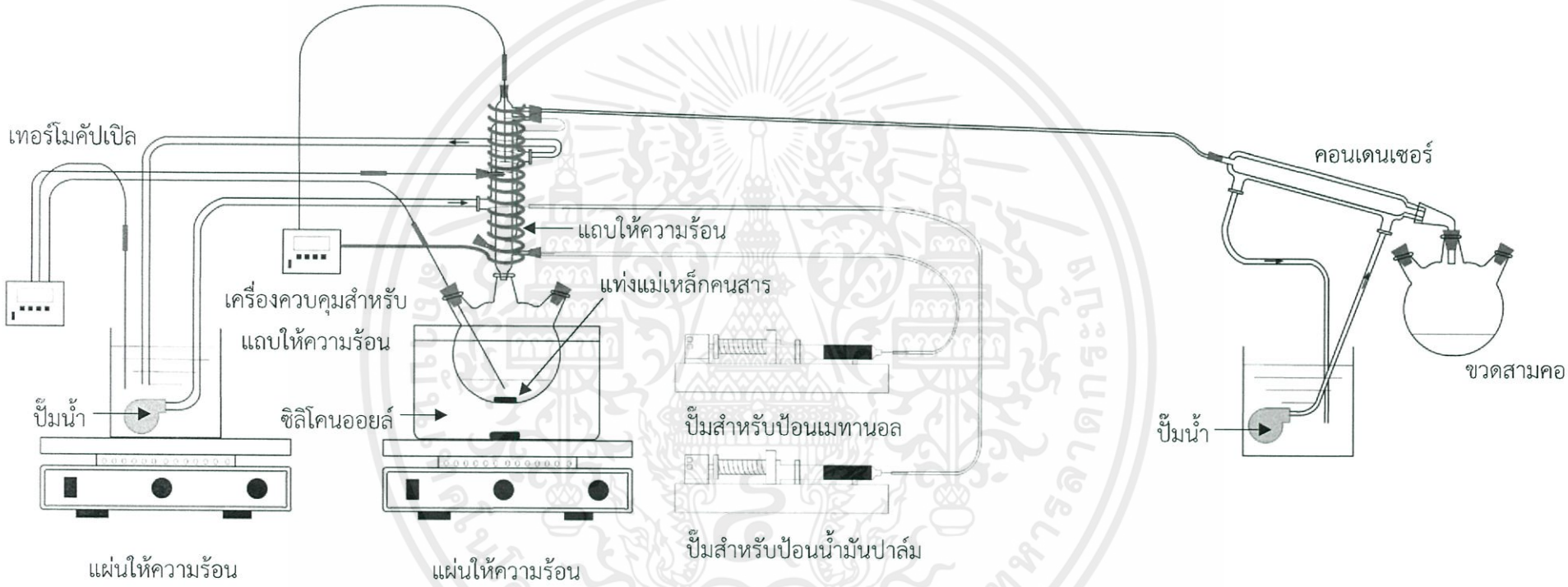
ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	1:12 โดยโมล
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์	1.5 กรัม (5% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม)
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	65, 75 และ 80 องศาเซลเซียส
ความดันในการทำปฏิกิริยา	ความดันบรรยากาศ
เวลาในการทำปฏิกิริยา	4 ชั่วโมง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งชุดการทดลองดังรูปที่ 3.2 โดยป้อนน้ำมันปาล์มจากทางเข้าด้านบนคอลัมน์และป้อนเมทานอลจากทางเข้าด้านล่างของคอลัมน์ โดยใช้สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.2
2. ควบคุมอุณหภูมิตามสภาวะที่ใช้ในการทดลอง แล้วป้อนน้ำมันปาล์มและเมทานอลเข้าสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่อง และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปกลั่นแยกเมทานอลที่หลงเหลืออยู่ออก
4. นำสารที่ได้จากข้อที่ 3 ไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกชั้น FAME กับกลีเซอรอล
5. นำชั้นกลีเซอรอลไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุสำหรับทดสอบปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.4. การทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

สารเคมี

1. น้ำมันปาล์ม ตรา ทับทิม
2. เมทานอล (CH_3OH) เกรดการค้า J.T. Baker
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์

อุปกรณ์

1. ขวดสามคอขนาด 250 มิลลิลิตร	2 ขวด
2. แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)	2 เครื่อง
3. ปั๊มเข็มฉีดยา (Syringe pump, Cole-Parmer)	2 เครื่อง
4. ปั๊มน้ำขนาดเล็ก (Pump)	2 เครื่อง
5. ปั๊มรีด	
6. แถบให้ความร้อน (Heating tape)	
7. แท่งแม่เหล็กคนสาร (Magnetic bar)	
8. เครื่องควบแน่น (Condenser)	
9. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)	
10. คอลัมน์	

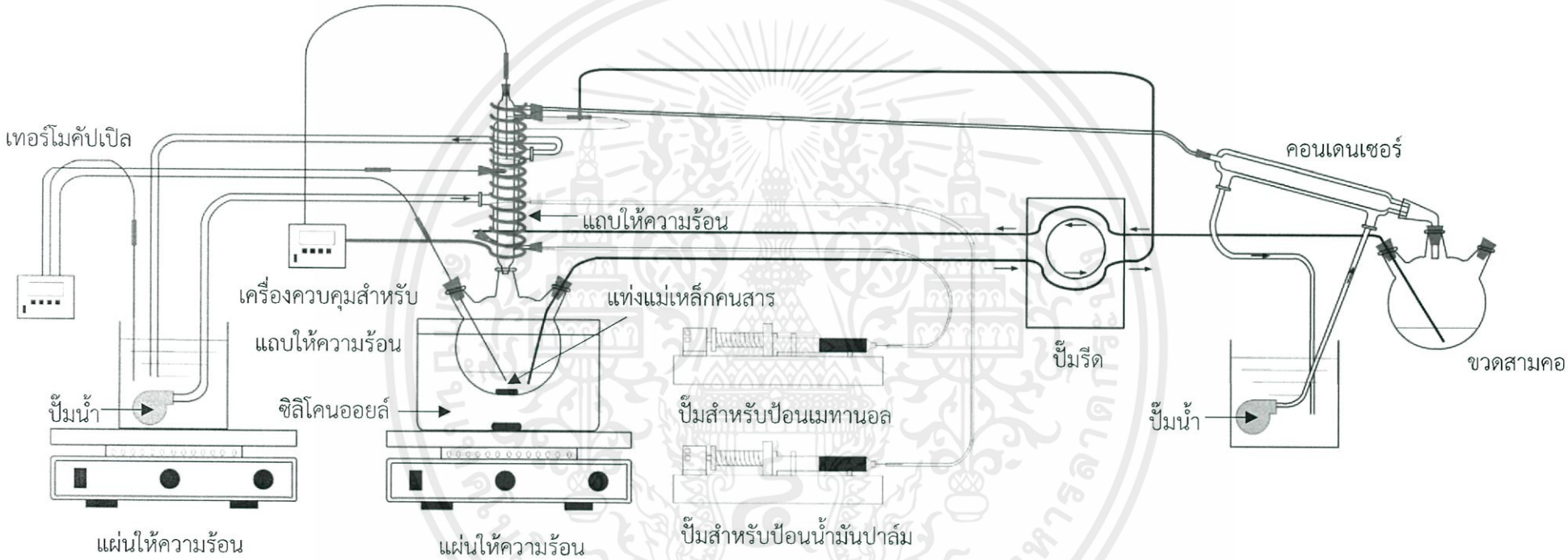
ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอลในหอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

สัดส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	1:9 และ 1:12 โดยโมล
ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์	1.5 กรัม (5% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม)
อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา	65, 75 และ 80 องศาเซลเซียส
ความดันในการทำปฏิกิริยา	ความดันบรรยากาศ
เวลาในการทำปฏิกิริยา	4 ชั่วโมง

ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดตั้งชุดการทดลองดังรูปที่ 3.3 โดยป้อนน้ำมันปาล์มจากทางเข้าด้านบนคอลัมน์และป้อนเมทานอลจากทางเข้าด้านล่างของคอลัมน์ โดยใช้สภาวะการทดลองดังตารางที่ 3.3
2. ควบคุมอุณหภูมิตามสภาวะที่ใช้ในการทดลอง แล้วป้อนน้ำมันปาล์มและเมทานอลเข้าสู่คอลัมน์อย่างต่อเนื่อง และปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาภายในเครื่องปฏิกรณ์
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปกลั่นแยกเมทานอลที่หลงเหลืออยู่ออก
4. นำสารที่ได้จากข้อที่ 3 ไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกชั้น FAME กับกลีเซอรอล
5. นำชั้นกลีเซอรอลไปชั่งน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสำหรับทดสอบปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.5. การวิเคราะห์ผล

ใช้วิธีวิเคราะห์โดยการชั่งน้ำหนัก นำน้ำหนักของกลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาคำนวณค่าร้อยละการแปลงผันทางเคมีของน้ำมันปาล์ม (Conversion of palm oil; X_{PO}) ตามสมการที่ (3-1)

$$X_{PO} = \frac{n_G}{n_{PO}} \times 100\% \qquad (3\text{-}1)$$

เมื่อ n_G คือ โมลของกลีเซอรอล

n_{PO} คือ โมลของน้ำมันปาล์มที่ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1. ผลการทดสอบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาของแคลเซียมออกไซด์

จากการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล 1:12 และใช้เวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1 ชั่วโมง พบว่ามีการทำปฏิกิริยาและเกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการขึ้น เนื่องจากสารตั้งต้นมีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์อยู่ตลอดเวลาร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ค่าการแปลงผันทางเคมีมีค่าเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแคลเซียมออกไซด์มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันและสามารถนำไปใช้ในการทดลองขั้นต่อไปได้

4.2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ

จากการทดลองที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:12 โดยการปรับเปลี่ยนอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเป็น 65, 75 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากสารตั้งต้นและตัวเร่งปฏิกิริยาไม่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ในตำแหน่งที่มีการทำปฏิกิริยา ดังนั้นโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาเคมีจึงเป็นไปได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

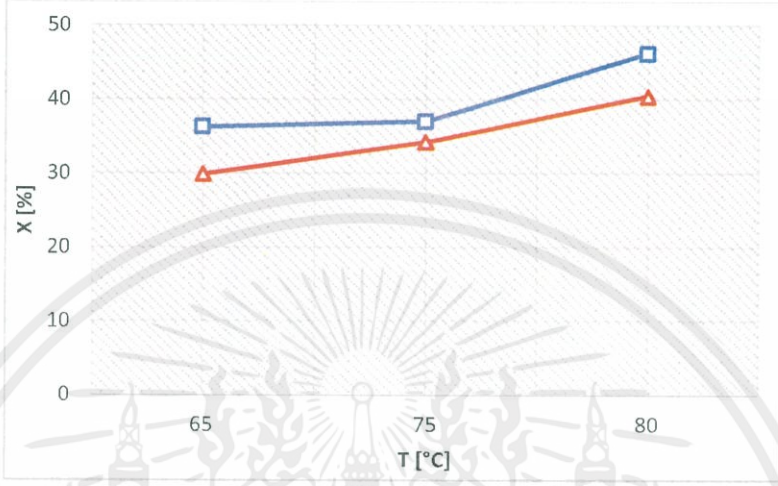
4.3.1. อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล

จากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลเป็น 1:9 และ 1:12 พบว่าที่อัตราส่วน 1:9 มีค่าการแปลงผันทางเคมีมากกว่าที่อัตราส่วน 1:12 โดยที่อัตราส่วน 1:9 มีค่าการแปลงผันทางเคมีประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 และที่อัตราส่วน 1:12 มีค่าการแปลงผันทางเคมีประมาณร้อยละ 20 ถึง 30 สำหรับการป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล ซึ่งสามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเมื่อมีการป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล [1:9 —□—, 1:12 —△—]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันกับการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล ที่อัตราส่วน 1:9 มีค่าการแปลงผันทางเคมีประมาณร้อยละ 35 ถึง 45 และที่อัตราส่วน 1:12 มีค่าการแปลงผันทางเคมีประมาณร้อยละ 30 ถึง 40 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ ดังรูปที่ 4.2



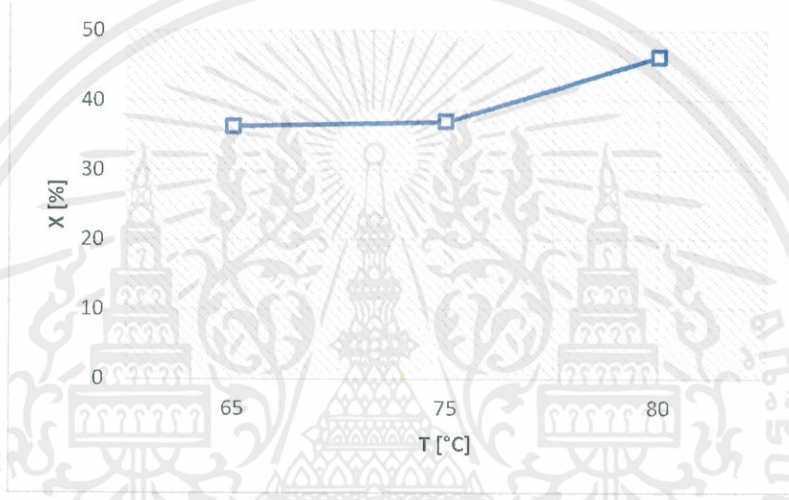
รูปที่ 4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเมื่อมีการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล [1:9 —□—, 1:12 —△—]

จากแนวโน้มที่เกิดขึ้นพบว่าเมื่อลดปริมาณเมทานอลหรือลดอัตราส่วนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาลงจะได้ค่าการแปลงผันทางเคมีที่เพิ่มขึ้น เพราะปริมาณเมทานอลที่มากเกินไปส่งผลให้ความเข้มข้นของน้ำมันปาล์มในสารผสมลดลง ทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับและอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 อิทธิพลของอุณหภูมิ

จากอิทธิพลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลที่กล่าวไปข้างต้น พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าการแปลงผันทางเคมีคล้ายคลึงกัน จึงพิจารณาที่อัตราส่วน 1:9 และชนิดการป้อนสารกลับแบบป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุด พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีเพิ่มขึ้นด้วย เพราะโมเลกุลของสารรับพลังงานจลน์จากความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและมีการชนกันมากขึ้นส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น พิจารณาได้ดังรูปที่ 4.3

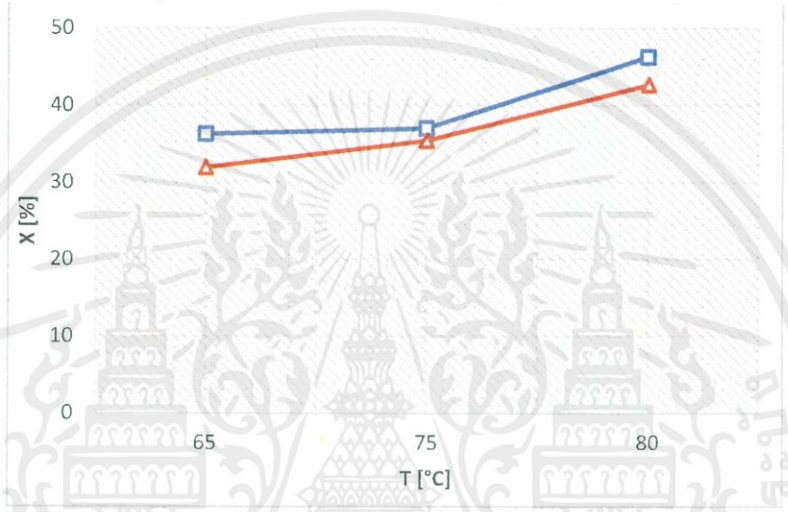


รูปที่ 4.3 อิทธิพลของอุณหภูมิที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 เมื่อมีการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3. อิทธิพลของการป้อนสารกลับ

จากการทดลองโดยการป้อนสารกลับ 2 แบบ ได้แก่ การป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล และการป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล พบว่าที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 และ 1:12 การป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีที่มากกว่าการป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอลเพียงอย่างเดียว ซึ่งหากพิจารณาจากอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มและเมทานอลเท่ากับ 1:9 ซึ่งให้ค่าการแปลงผันทางเคมีสูงสุด จะสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อิทธิพลของชนิดของการป้อนสารกลับที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 [ป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล —□—, ป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล —△—]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุและเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยา

จากผลการทดสอบเครื่องปฏิกรณ์ทั้งสองชนิดที่กล่าวไปข้างต้นพบว่าเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยามีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุเนื่องจากให้ค่าการแปลงผันทางเคมีที่มากกว่า เพราะเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสามารถหมุนเวียนสารกลับมาใช้ใหม่ได้ อีกทั้งยังสามารถดึงสารผลิตภัณฑ์ออกจากคอลัมน์เมื่อมีการทำปฏิกิริยา ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้งานสารตั้งต้นมากกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ และสามารถลดความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาสามารถก้าวข้ามขีดสมดุลของปฏิกิริยาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันปาล์มกับเมทานอล โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาซึ่งมีตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บรรจุอยู่ภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานต่างๆ พบว่าแคลเซียมออกไซด์มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาและเมื่อทำการทดลองเพื่อเปรียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุและเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาพบว่า เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยามีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องปฏิกรณ์แบบเบดบรรจุ เนื่องจากเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาสามารถนำสารตั้งต้นที่ไม่ได้เข้าทำปฏิกิริยากลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้เมื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาจะสามารถเพิ่มค่าการแปลงผันทางเคมีได้ และเมื่อลดอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลลงก็สามารถเพิ่มค่าการแปลงผันทางเคมีได้เช่นกัน นอกจากนี้การป้อนสารกลับก็มีผลต่อค่าการแปลงผันทางเคมี โดยที่การป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอลให้ค่าการแปลงผันทางเคมีที่มากกว่าการป้อนสารกลับเฉพาะเมทานอล ดังนั้นจากผลการทดลองดังกล่าว พบว่าสภาวะที่ทำให้เครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยามีประสิทธิภาพสูงสุด พิจารณาจากค่าการแปลงผันทางเคมีที่สูงที่สุด คือ อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส และป้อนสารกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล โดยใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์ 5% โดยมวลของน้ำมันปาล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] D. Barbosa, M. Doherty. 1987. "**Design and minimum reflux calculations for single-feed multicomponent reactive distillation columns.**" Chemical Engineering Science. 1988(43):1523-1537.

[2] S. Hauan, A. Westerberg, K. Lien. 1999. "**Phenomena based Analysis of XED points in reactive separation systems.**" Chemical Engineering Science. 2000(55):1053-1075.

[3] P. Enda, M. Rachimoellah, S. Nidya, P. Ferdy. 2012. "**Biodiesel production from kapok seed oil (ceiba pentandra) through the transesterification process by using Cao as catalyst.**" Global Journals of Research in Engineering. 2012(12):1-7.

[4] L. Xuejun, H. Huayang, W. Yujun, Z. Shenlin, P. Xianglan. 2007. "**Transesterification of soybean oil to biodiesel using CaO as a solid base catalyst.**" Science Direct. 2008(87):216-221.

[5] S. Vladimir, G. Aleksey and I. Anton. 2012. "**CaO/Y_2O_3 pellets for reversible CO_2 capture in sorption enhanced reforming process.**" Catalysis for Sustainable Energy. 2012(6):54-58.

[6] Z. Yue, W. Wing-Tak, Y. Ka-Fu. 2013. "**One-step production of biodiesel from rice bran oil catalyzed by chlorosulfonic acid modified zirconia via simultaneous esterification and Transesterification.**" Bioresource Technology. 2013(147):59-64.

[7] V. Marian, C. Simona, R. Ryan, P. Vasile. 2010. "**Transesterification of vegetable oils over CaO catalysts.**" Catalyst Today. 2011(164):64-70.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
1:9	65	6.2178	2.2194
	75	6.4386	2.2514
	80	6.9601	2.4249
1:12	65	6.6912	3.0313
	75	6.4898	2.9766
	80	6.6128	3.0008

ตารางที่ ก.2 น้ำหนักสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม (กรัม)	เมทานอล (กรัม)
1:9	65	6.5008	2.3577
	75	6.6033	2.3175
	80	6.8603	2.6331
1:12	65	6.8210	2.8722
	75	6.4730	2.8499
	80	6.5898	2.9872

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	FAME (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)
1:9	65	2.5798	0.2134
	75	2.7188	0.2134
	80	2.5240	0.3192
1:12	65	2.4581	0.1671
	75	2.9472	0.1925
	80	2.8793	0.2318

ตารางที่ ก.4 น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาลมต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	FAME (กรัม)	กลีเซอรอล (กรัม)
1:9	65	2.2717	0.2542
	75	3.6946	0.2632
	80	1.8656	0.3417
1:12	65	1.7049	0.2192
	75	1.7190	0.2381
	80	1.4851	0.2866

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลวิเคราะห์

ตารางที่ ก.5 จำนวนโมลของสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม (โมล)	เมทานอล (โมล)
1:9	65	0.0073	0.0693
	75	0.0075	0.0703
	80	0.0081	0.0757
1:12	65	0.0078	0.0946
	75	0.0076	0.0929
	80	0.0077	0.0937

ตารางที่ ก.6 จำนวนโมลของสารที่ใช้ในการทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	น้ำมันปาล์ม (โมล)	เมทานอล (โมล)
1:9	65	0.0076	0.0736
	75	0.0077	0.0723
	80	0.0080	0.0822
1:12	65	0.0080	0.0896
	75	0.0076	0.0889
	80	0.0077	0.0932

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 จำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	FAME (โมล)	กลีเซอรอล (โมล)
1:9	65	0.0095	0.0023
	75	0.0101	0.0027
	80	0.0093	0.0035
1:12	65	0.0091	0.0018
	75	0.0109	0.0021
	80	0.0106	0.0025

ตารางที่ ก.8 จำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากทดลองเมื่อมีการป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล

อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ	FAME (โมล)	กลีเซอรอล (โมล)
1:9	65°C	0.0084	0.0028
	75°C	0.0137	0.0029
	80°C	0.0069	0.0037
1:12	65°C	0.0063	0.0024
	75°C	0.0064	0.0026
	80°C	0.0055	0.0031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ผลการทดลองการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในเครื่องปฏิกรณ์หอกลั่นแบบมีปฏิกิริยาที่สภาวะต่างๆ

ลักษณะการหมุนเวียน	อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอล	อุณหภูมิ (°C)	ค่าการแปลงผันทางเคมี
ป้อนกลับเฉพาะเมทานอล	1:9	65	31.86
		75	35.36
		80	42.58
	1:12	65	23.19
		75	27.54
		80	32.54
ป้อนกลับทั้งน้ำมันปาล์มและเมทานอล	1:9	65	36.30
		75	37.01
		80	46.24
	1:12	65	29.84
		75	34.15
		80	40.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณค่าการแปลงผันทางเคมีของน้ำมันปาล์ม

การคำนวณค่าการแปลงผันทางเคมีเมื่อมีการป้อนกลับเฉพาะเมทานอล ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันปาล์มต่อเมทานอลเท่ากับ 1:9 ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส

จำนวนโมลของน้ำมันปาล์มที่ใช้เท่ากับ 0.0073 โมล

จำนวนโมลของกลีเซอรอลที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.0023 โมล

แทนค่าลงในสมการคำนวณค่าการแปลงผันทางเคมีดังสมการที่ (3-1)

$$X_{PO} = \frac{0.0023}{0.0073} \times 100\% = 31.86\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวจุฬาลักษณ์ พนาวรานันท์
วัน เดือน ปีเกิด	11 มิถุนายน 2535 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	24 ซอยสุขสวัสดิ์ 30 แยก 2 ถนนสุขสวัสดิ์ แขวงบางปะกอก เขตราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ 10140 โทร.0-2427-6271
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรี 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ชื่อ-นามสกุล	นางสาวพิมพ์มาดา ฉางข้าวพรม
วัน เดือน ปีเกิด	19 พฤศจิกายน 2534 ที่เชียงใหม่
ที่อยู่	33 หมู่ 8 ตำบลแม่ไร่ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย 57240 โทร.08-4351-7667
วุฒิการศึกษา	ระดับปริญญาตรี 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้